



Title	近赤外分光法による搾乳時のリアルタイム乳質診断
Author(s)	川村, 周三; Kawamura, Shuso
Citation	獣医畜産新報, 58(7), 577-581
Issue Date	2005
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/719
Type	journal article
File Information	JVM58-7kawamura.pdf



近赤外分光法による搾乳時のリアルタイム乳質診断

川村周三

所属

Shuso KAWAMURA : 北海道大学大学院農学研究科農産物加工工学研究室,
shuso@bpe.agr.hokudai.ac.jp (〒060-8589 札幌市北区北9条西9丁目)

要約

大規模酪農では、乳牛の群管理技術と同時に個別管理技術が必要とされている。そこで近赤外分光法を用いた搾乳時のリアルタイム乳質診断技術の研究開発を行っている。試作した近赤外センサにより搾乳中の乳成分や体細胞数をリアルタイムに測定することができた。同時に搾乳1回分の平均の乳成分や体細胞数を搾乳終了時に求めることが可能となった。この技術により搾乳時に潜在性乳房炎の乳牛を診断することが可能となる。近赤外分光法によるリアルタイム乳質診断技術は、搾乳ロボットと組み合わせることにより乳牛の個別管理に利用可能であり、酪農における精密農業の発展に貢献する技術である。

1. はじめに

近年、酪農経営は大規模化が進んでおり、とくに北海道ではその傾向が顕著である。大規模酪農では乳牛を群管理する技術が普及しつつあるが、一方で乳質の向上や乳量の増加のためには、群管理技術と同時に乳牛の個別管理技術が必要とされている。乳牛の個別管理を行うためには、乳成分や体細胞数などの乳質および乳量を乳牛毎に搾乳時にリアルタイムで検知する技術が不可欠である。

そこで、近赤外分光分析法を用いた搾乳時のリアルタイム乳質診断技術の開発を目指し研究を行っている。この特集では、近赤外センサを試作し搾乳時の乳質を測定するための検量線（キャリブレーション）を作成し、その測定精度を検証した結果を報告する。さらに、試作した近赤外センサを利用して、搾乳中の乳質の連続的な変化および搾乳1回分の平均乳質を測定した結果について報告する。

2. 方法

(1) 乳牛

供試乳牛は北海道大学北方生物圏フィールド科学センター研究農場で飼養するホルスタイン種2頭(牛番号1059と1066)である。供試乳牛について表1に示した。この牛舎では、夕方の搾乳は午後4時から、朝の搾乳は午前8時30分から行う。

(2) 近赤外センサと基準分析試料

図1に試作した近赤外センサの測定部の平面図を、図2に測定部の写真を示した。

搾乳後の生乳は連続的に測定室に供給され、測定室をオーバーフローした生乳はバケツトへ流れ出る。測定部の生乳体積は約 700 mL である。測定室は白色テフロン製である。生乳に照射されたハロゲンランプの拡散透過光が光ファイバーにより分光器へ導かれる。ハロゲンランプと光ファイバーの光軸は同一水平面上にあり、かつ直交している。

近赤外センサの測定波長範囲は 600～1050 nm であり、1 nm ごとにスペクトルの測定を行った。スペクトルの測定では、測定室に生乳がない時(空気がある時)の拡散透過光をレファレンス(基準)とした。そして測定室に生乳がある時の拡散透過光の強さを、レファレンスとの比(透過率(%))で表した。図 3 に一例として、99 点の生乳の近赤外拡散透過スペクトルを示した。

図 4 に搾乳時における測定のフローチャートを、図 5 に搾乳時の測定の様子を示した。ミルカで搾乳された生乳は近赤外センサの測定部へ送られる。測定部を通過した生乳は乳量計、サンプルラを通過しバケツトへ送られる。スペクトルの測定は 15 秒毎に行い、乳量は 1 分毎に測定した。

基準分析試料は、搾乳開始から 1 分間毎に集積した生乳をそれぞれ採取した。搾乳終了後にバケツトの生乳を攪拌し、搾乳 1 回分全体の平均試料を採取した。測定は 1999 年 9 月 28 日から 2000 年 7 月 28 日までの期間に、約 2 週間に一度、夕方と朝の搾乳時に行った。測定回数(搾乳回数)は乳牛 2 頭、夕方と朝の搾乳を合計して 55 回であった。搾乳中に採取した基準分析試料数は乳牛 2 頭、夕方と朝の搾乳を合計して 359 点であった。

(3) 乳質の基準分析

乳質として、乳脂肪、乳タンパク質、乳糖の乳成分、および体細胞数(SCC)を測定した。乳成分の測定には Foss Electric 社製 Milkoscan S54-A を用いた。体細胞数の測定には Foss Electric 社製 Fossomatic 5000 を用いた。

(4) キャリブレーションの作成と検証

15 秒毎に測定した近赤外拡散透過スペクトル 4 つを平均し、1 分間のスペクトルとした。キャリブレーションは 1 分毎のスペクトルと基準分析値から Partial Least Squares (PLS) 回帰分析法で作成した。試料数 359 点のうち 239 点でキャリブレーションを作成し、残りの 120 点で測定精度の検証を行った。なお、体細胞数は基準分析値を常用対数値(log SCC)に変換し、キャリブレーションを作成した。

(5) 搾乳 1 回分の平均乳質の計算

近赤外センサで測定した 1 分毎の乳質と、同時に測定した 1 分毎の乳量とを加重平均して、搾乳 1 回分の生乳全体の平均乳質を算出した。

3. 結果と考察

(1) 近赤外分析計の乳質測定精度の検証

表 2 に、試作した近赤外センサの搾乳時における乳質測定精度の検証結果を示した。図 6 に搾乳時における乳脂肪測定精度の検証結果を、図 7 に体細胞数測定精度の検証結果を示した。測定精度の検証結果から以下のことが分かった。

測定した乳脂肪の範囲は 1.01%～8.81%であった。乳脂肪の測定精度は決定係数

(r^2)が0.93, 測定値の標準誤差(SEP)が0.49%であり, 良い精度であった。乳タンパク質と乳糖の測定精度は, 乳脂肪と比較すると r^2 がやや低いが, SEPが小さいので実用上問題のない精度であった。

測定した体細胞数の範囲は1.5万/mL (\log SCC=4.18)~268.5万/mL (\log SCC=6.43)であった。体細胞数の測定精度は r^2 が0.74, SEPが0.24 \log SCCであった。この測定精度は, 例えば, この近赤外センサ($r^2=0.74$)を用いて, 体細胞数が少なく乳質の良い牛乳と, 体細胞数が多く乳質の良くない牛乳とに2分類した場合, 正しく分類できる確率は83%であることを意味している。したがって, 試作した近赤外センサは搾乳時に体細胞数をもとに乳質をリアルタイムに検知するには, 実用上十分な精度があると考えられる。

(2) 近赤外センサによる搾乳中の乳質検知

この近赤外センサを用いて搾乳中の乳質を15秒毎に測定した一例を図8~図11に示す。また, 同時に測定した乳量を図12に示す。これらは1999年12月8日夕方と1999年12月9日朝に1059番の乳牛を搾乳した時の例である。

乳脂肪は, 搾乳開始時には低く, 搾乳時間の経過とともに上昇した。搾乳開始時と終了時の乳脂肪の差は5%~6%であった。また, 乳脂肪は朝よりも夕方の搾乳時に高かった。乳タンパク質と乳糖は, 乳脂肪に比べると, 搾乳中の変動が少なく, 夕方と朝の搾乳の差も小さかった。

体細胞数は搾乳開始後にやや低下し, その後増加し, 搾乳終了時に最大となった。朝の搾乳を例に取ると, 体細胞数は最低で1.4万/mL (\log SCC=4.15), 最大で11.1万/mL (\log SCC=5.15)であった。

乳量は搾乳開始から2分前後で最大となり, その後, 減少した。また搾乳1回の総乳量は, 夕方搾乳よりも朝搾乳のほうが多かった。

以上のように, 近赤外センサにより搾乳中の乳質の変化を連続的に検知することが可能となった。

(3) 搾乳1回分の平均乳質の検知

表3に搾乳1回分の乳質の基準分析値と, 近赤外センサによる測定値と乳量から求めた計算値との関係を示した。図13と図14に, 搾乳1回分の乳脂肪と体細胞数の基準分析値と計算値との関係をそれぞれ示した。いずれの乳成分においても基準分析値との r^2 が高く, 標準誤差(SE)が小さかった。

体細胞数の結果($r^2=0.86$)をもとに, 例えば, 健康な乳牛と潜在性乳房炎の可能性のある乳牛, およびその中間の乳牛に3分類した場合, 正しく分類できる確率は78%となる。すなわち, 試作した近赤外センサで搾乳中に測定した乳成分と乳量の測定値から, 乳牛1頭の搾乳1回分の平均乳質を良い精度で検知することができた。さらに, 体細胞数の検知により潜在性乳房炎の可能性のある乳牛を診断することが可能であった。

4. おわりに

この特集で報告した近赤外センサは試作1号機である。1号機に続いて, 測定部をさらに小型化し洗浄性を向上させた改良型(2号機)を用いて, 北海道大学(パ

イプラインミルク), 北海道農業研究センター (ミルクパーラー), 酪農学園大学 (搾乳ロボット), 北海道立根釧農業試験場 (搾乳ロボット) での実験を重ねてきた。その結果, 乳成分と体細胞数に加えて乳中尿素態窒素の測定も可能であることが分かった。一方, 測定対象の牛群が異なるなどの要因により測定精度が低下する場面があることが分かってきた。現在は, 近赤外分光法による搾乳時のリアルタイム乳質診断技術の実用化を目指し, より安定した測定精度を得るためにさらに改良を加えたセンサ (3号機) を試作することを計画している。搾乳時のリアルタイム乳質診断は搾乳ロボットと組み合わせることにより, 酪農における精密農業の発展に大きく貢献する技術となることが期待される。

謝辞

本研究は生物系特定産業技術研究推進機構による「近赤外分光法を基軸とする乳牛生体情報のオンラインモニタリング手法の開発」の一部として研究開発を行った。本研究を行うにあたり, 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター研究農場および北海道酪農検定検査協会の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

表 1 供試乳牛

牛番号	誕生日	分娩日	産次
1059	1993/1/1	1999/8/30	4
1066	1993/11/9	1999/6/7	3

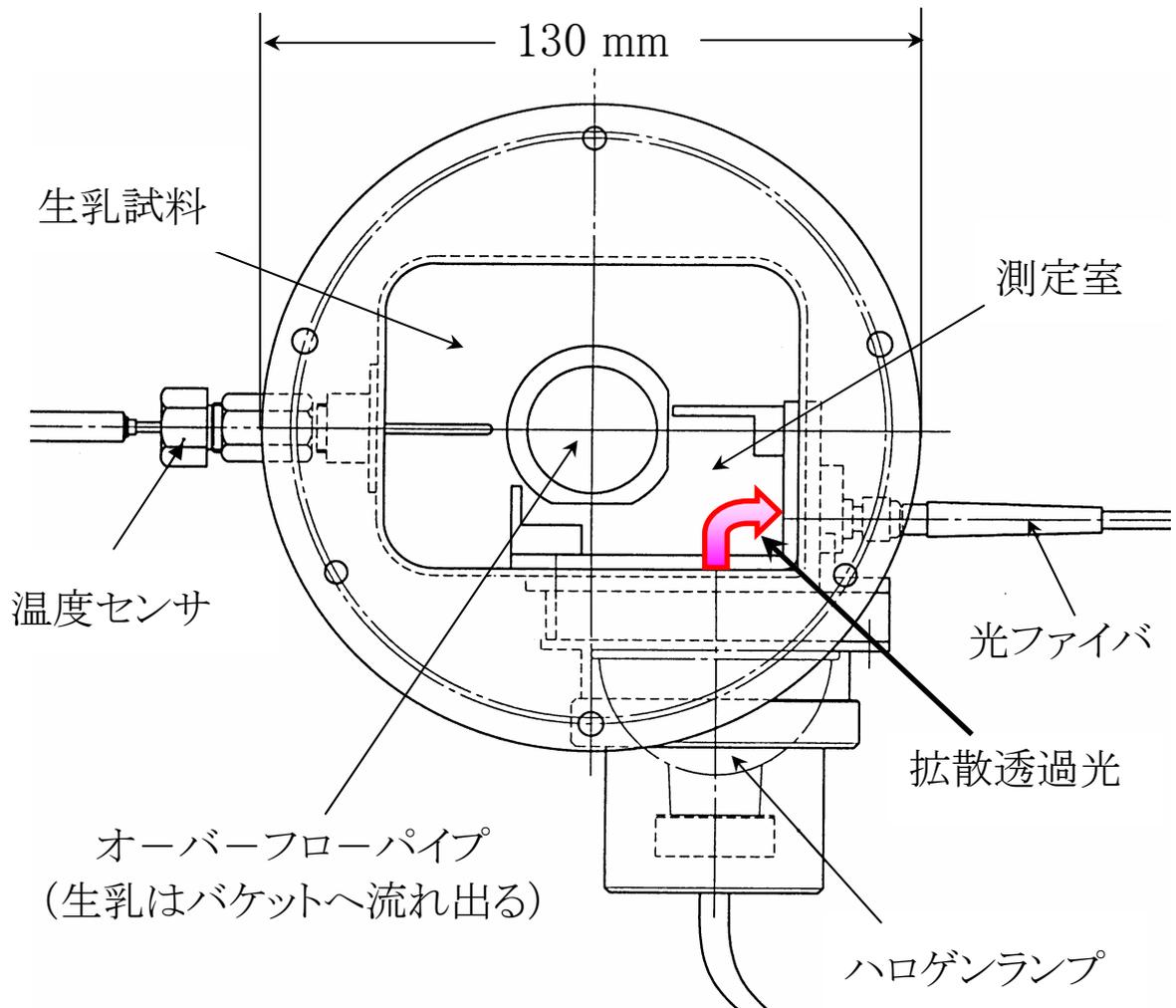


図 1 近赤外センサの測定部の平面図



図 2 近赤外センサの測定部

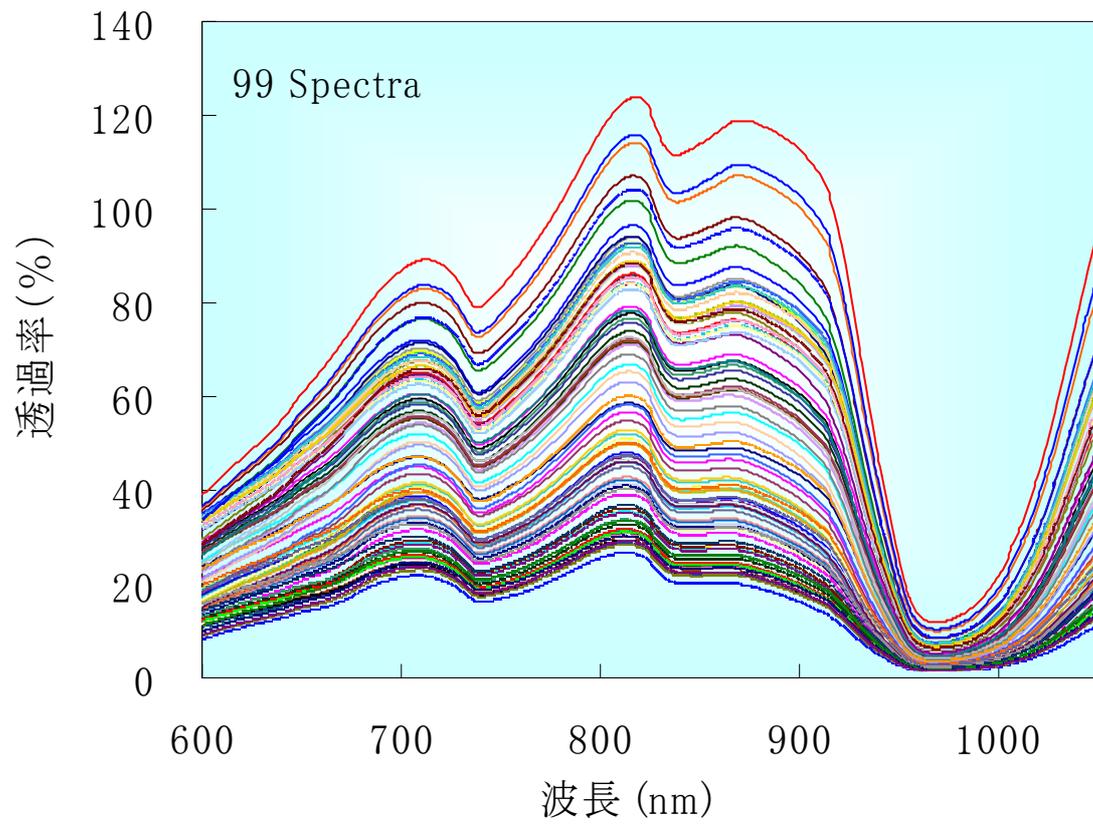


図3 生乳の近赤外拡散透過スペクトル

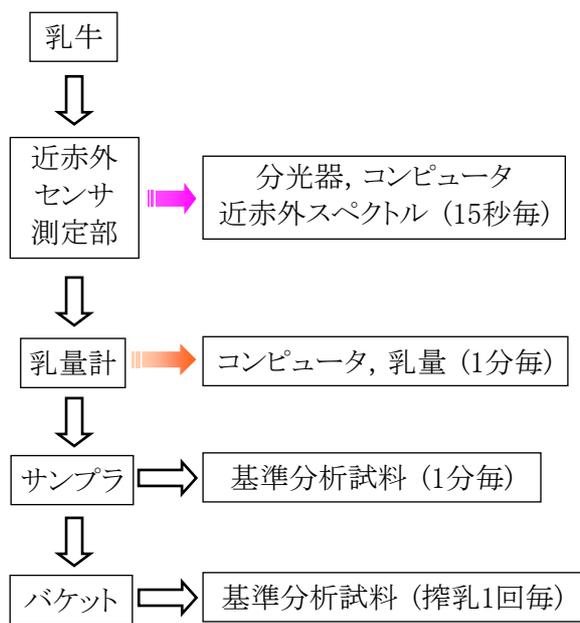


図4 搾乳時におけるオンライン乳質診断のフローチャート



図 5 搾乳時の測定の様子

表 2 搾乳時における乳質測定精度の検証

乳質	試料数	範囲 (%) (log SCC)	r^2	SEP (%) (log SCC)	Bias (%) (log SCC)
乳脂肪	120	1.01-8.81	0.93	0.49	0.02
乳タンパク質	120	2.65-4.14	0.73	0.16	-0.02
乳糖	120	4.63-5.45	0.85	0.08	0.00
体細胞数 (SCC)	119	4.18-6.43	0.74	0.24	0.01

r^2 : 決定係数

SEP: Standard error of prediction, 乳質測定値の標準誤差

Bias: 基準分析値と近赤外センサによる測定値との平均値の差

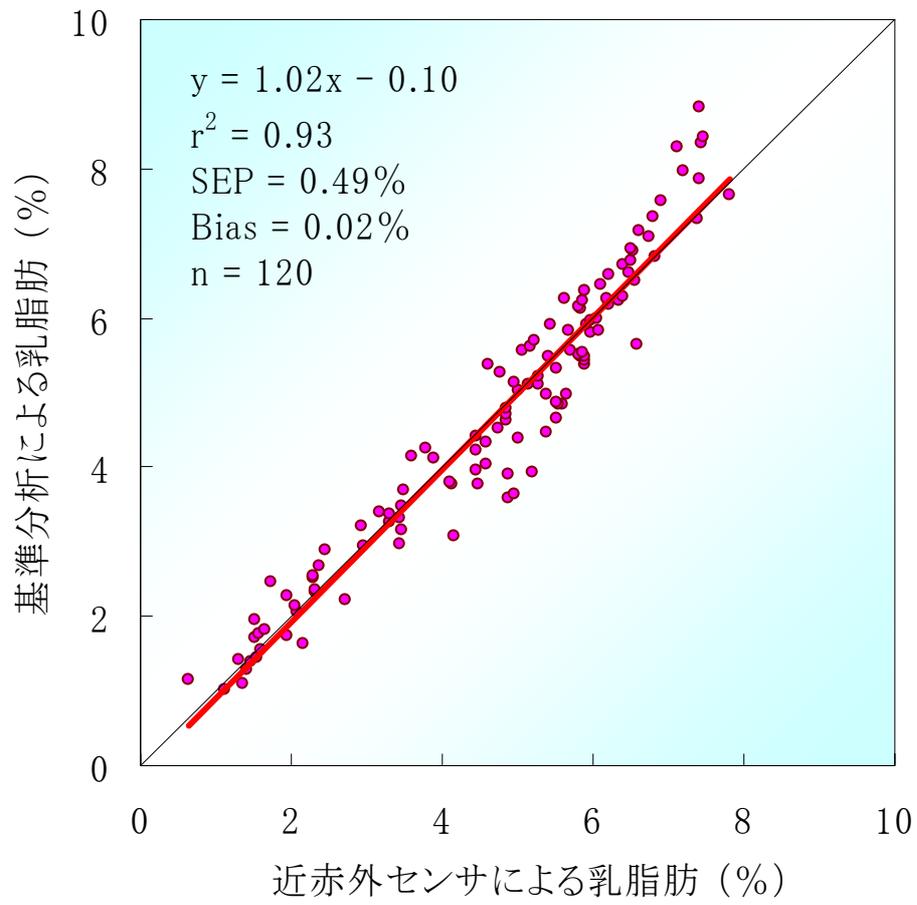


図6 搾乳時における乳脂肪測定精度の検証

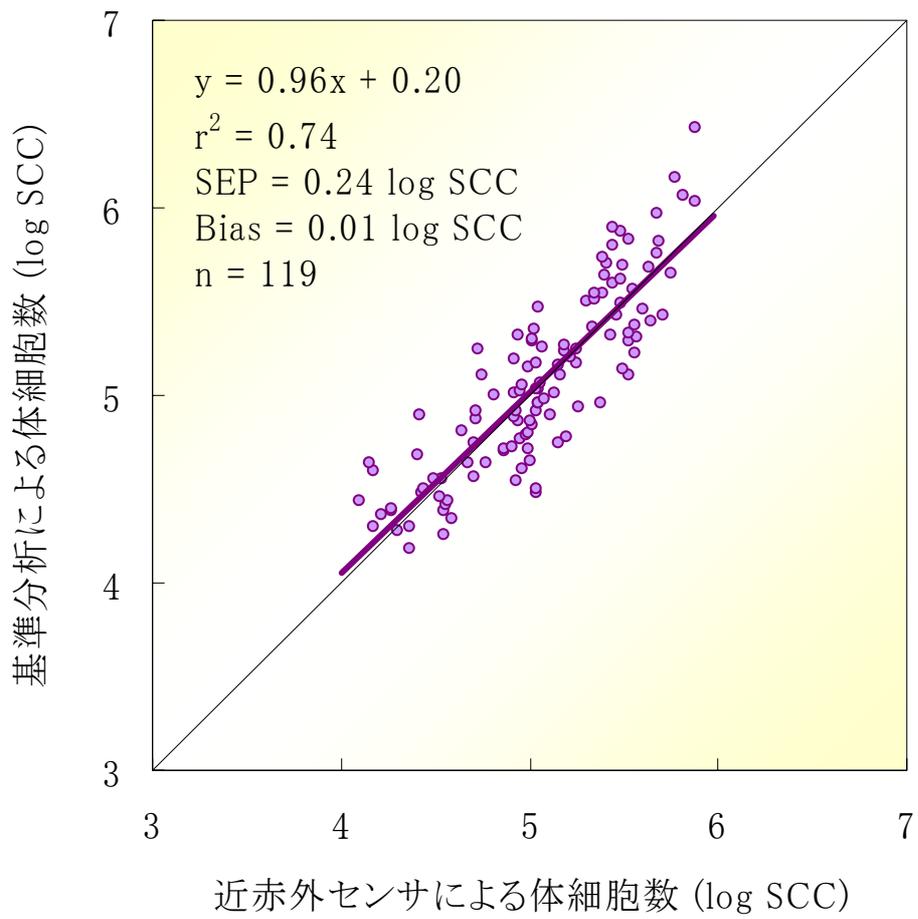


図7 搾乳時における体細胞数測定精度の検証

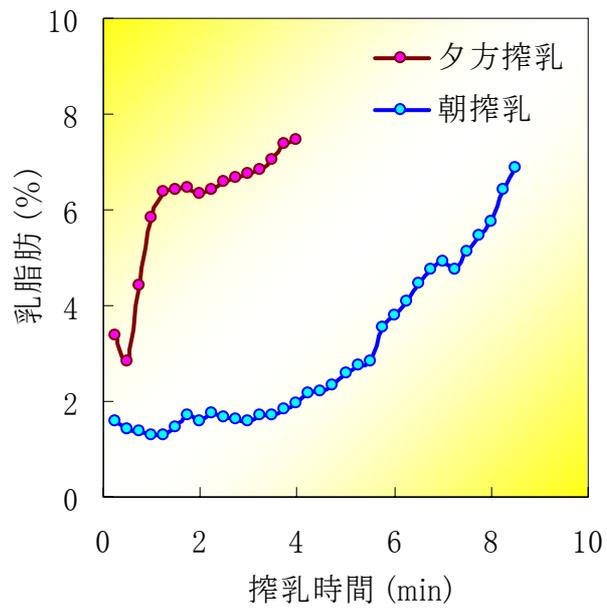


図8 搾乳中の乳脂肪変化

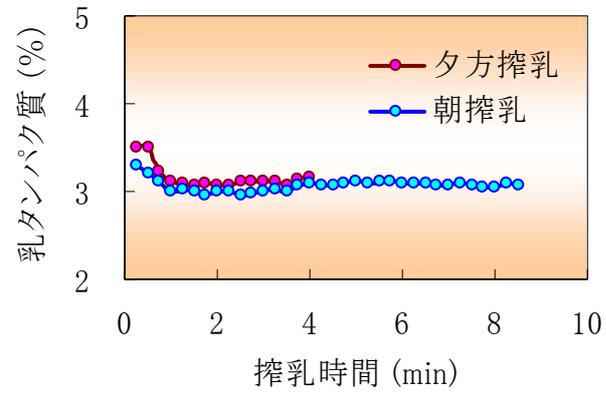


図9 搾乳中の乳タンパク質変化

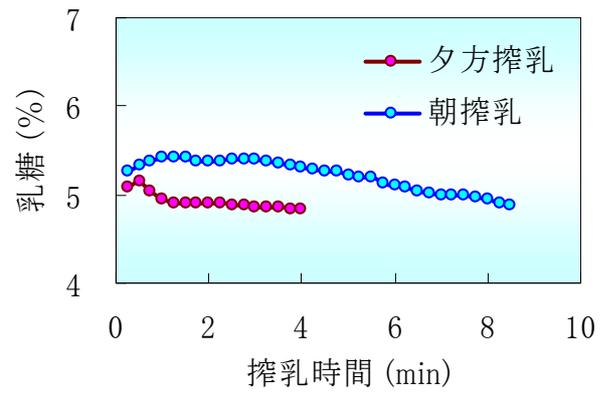


図10 搾乳中の乳糖変化

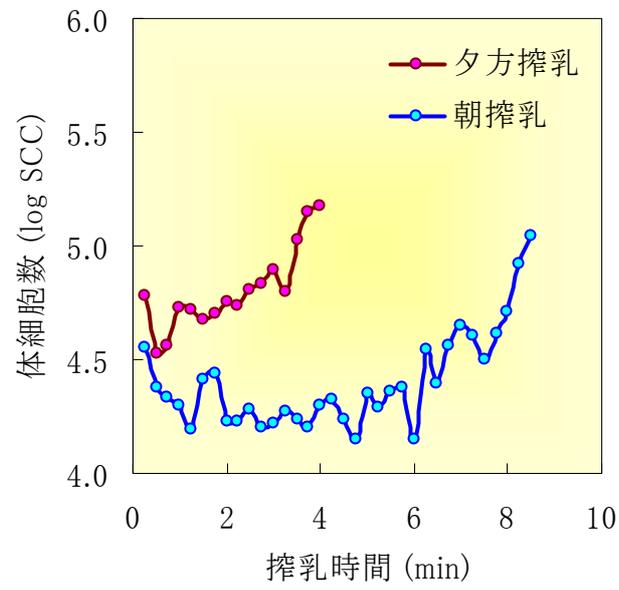


図11 搾乳中の体細胞数変化

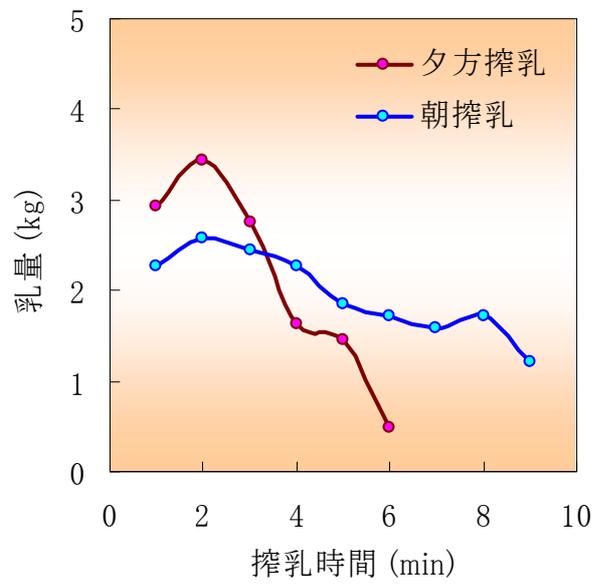


図12 搾乳中の乳量変化

表3 搾乳1回分の乳質の基準分析値と近赤外センサによる計算値との関係

乳質	試料数	範囲 (%) (log SCC)	r ²	SE (%) (log SCC)	Bias (%) (log SCC)	回帰式
乳脂肪	55	2.39-7.58	0.90	0.43	0.34	y = 1.00x + 0.34
乳タンパク質	55	2.75-4.13	0.83	0.13	0.00	y = 1.05x - 0.17
乳糖	55	4.69-5.27	0.83	0.06	-0.05	y = 0.94x + 0.24
体細胞数 (SCC)	54	4.41-6.44	0.86	0.18	0.13	y = 1.11x - 0.44

SE: Standard error, 乳質計算値の標準誤差

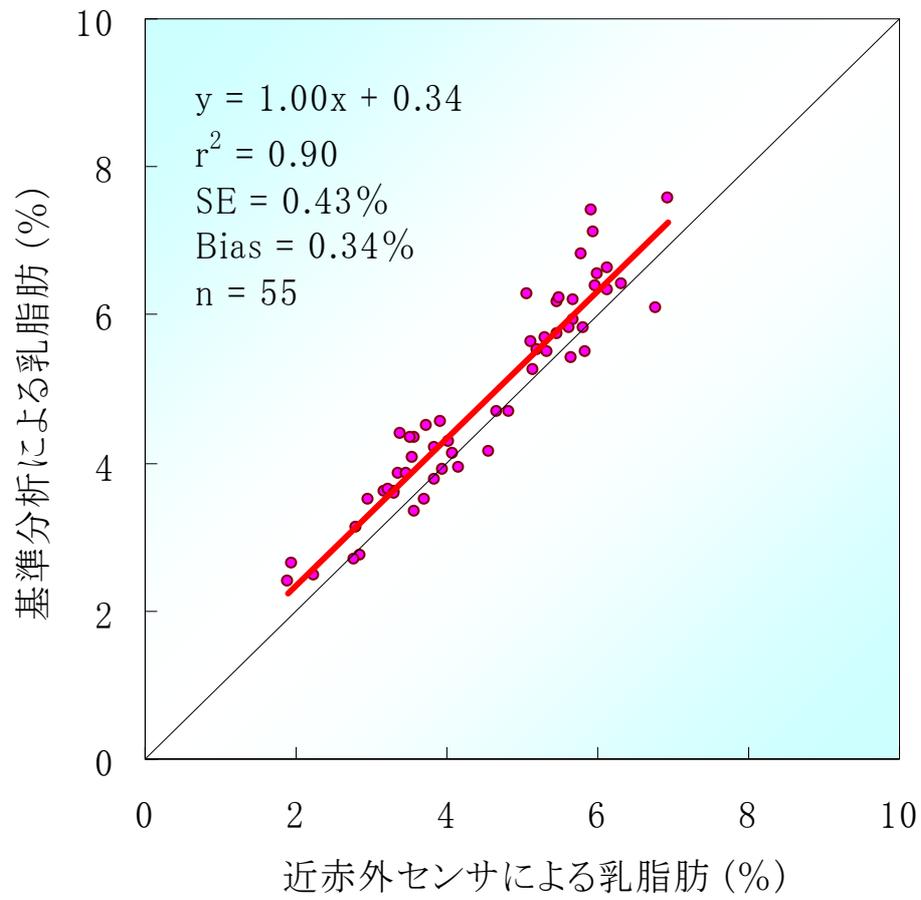


図13 近赤外センサによる乳脂肪測定値から搾乳1回分の乳脂肪を計算した時の精度

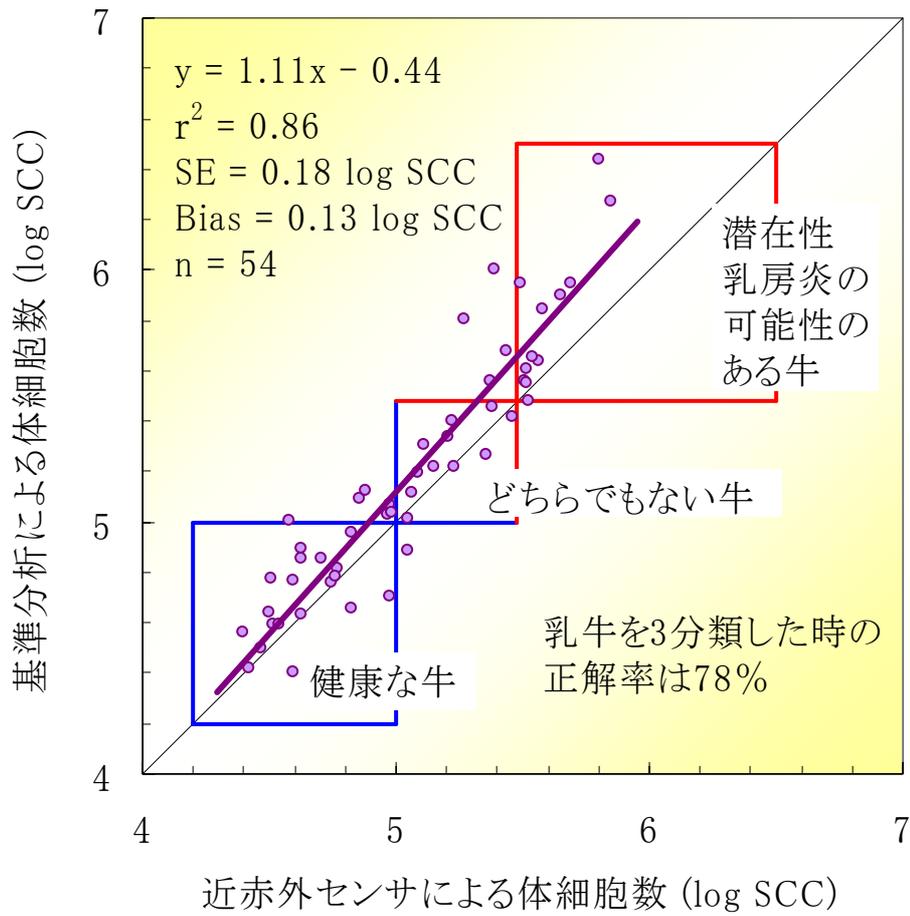


図14 近赤外センサによる体細胞数測定値から搾乳1回分の体細胞数を計算した時の精度